

เครื่องหมักแบบหลายคอลัมน์ในการผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง
จากไวน์สับปะรด



นายประพนธ์ ประสพวัฒนา

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-568-587-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013867

๕ 1๖๒๙๙๕๘

MULTICOLUMN FERMENTER IN CONTINUOUS VINEGAR PRODUCTION
FROM PINEAPPLE WINE



Mr. Prapon Prasopwatana

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science

Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

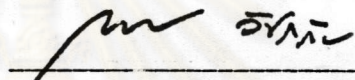
1988

ISBN 974-568-587-9

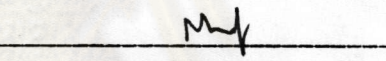


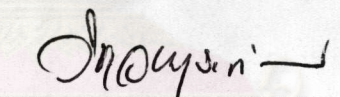
หัวข้อวิทยานิพนธ์ เครื่องหมักแบบหลายคอลัมน์ในการผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง
จากไวน์สับปะรด
โดย นายประพนธ์ ประสพวัฒนา
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วन्दรงค์วรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์

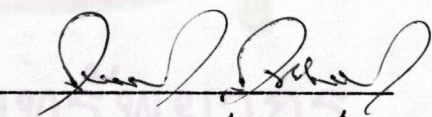
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

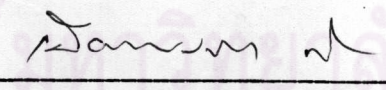

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วิชาภัย)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย โอสุวรรณ)


กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วन्दรงค์วรรณ)


กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)


กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เพียรพรศ ทักคร)


กรรมการ
(คุณ พรทิพย์ รัตนะ)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประพนธ์ ประสพวัฒนา : เครื่องหมักแบบหลายคอลัมน์ในการผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง
จากไวน์สับประรด (MULTICOLUMN FERMENTER IN CONTINUOUS VINEGAR PRODUCTION
FROM PINEAPPLE WINE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิชา วนดุรงค์วรรณ, อ.ที่ปรึกษาร่วม :
ผศ.สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์, 152 หน้า.

การศึกษาเครื่องหมักหลายคอลัมน์แบบต่อเนื่องได้พัฒนามาจากเครื่องหมักคอลัมน์เดี่ยว ทั้งแบบกึ่ง
ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง โดยมีจุดมุ่งหมายให้กำลังการผลิตที่สูงขึ้น

เครื่องหมักหลายคอลัมน์อย่างต่อเนื่องประกอบด้วยเครื่องหมักย่อย 4 เครื่องต่อกัน โดยทุก
เครื่องมีลักษณะเหมือนกันคือ ตัวคอลัมน์ทำด้วยพลาสติกใส เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.2 เซนติเมตร สูง 50
เซนติเมตร ภายในบรรจุด้วยแพคเบตซึ่งทำจากไม้มะค่า (*Xylocarpa craib*) รูปทรงกลมขนาดเส้นผ่า-
ศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร บนแพคเบตมีเชื้อจุลินทรีย์ *A. aceti* ที่ใช้ในการเปลี่ยนเอทานอลเป็นกรดอะซิติก
เกาะอยู่ จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่ทำให้อัตราการเกิดกรดอะซิติกสูงที่สุดคือ อัตราส่วนความสูงของช่อง
ว่างเหนือแพคเบตต่อความสูงของแพคเบตเท่ากับ 1:0.95 ระบบการไหลเวียนของน้ำหมักเป็นแบบกาลักน้ำ
อัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมของแต่ละเครื่องหมักพบว่า อัตราการไหลเข้า
ของน้ำหมักในทุกเครื่องหมักเท่ากับ 2.8 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศของเครื่องหมักที่ 1, 2, 3 และ 4
เท่ากับ 0.04, 0.04, 0.06 และ 0.06 ปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรของน้ำหมักต่อนาที ตามลำดับ และ
เมื่อนำค่าที่ได้มาทำการหมักแบบต่อเนื่องโดยการป้อนเข้าไวน์สับประรดที่มีอัตราส่วนของเอทานอลต่อกรดอะซิติก
7:1 จะได้อัตราการเจือจางและอัตราส่วนการป้อนกลับ (อัตราการเจือจาง : อัตราการป้อนกลับ) ที่
เหมาะสมที่ทำให้ปริมาณกรดอะซิติกและเชื้อในทุกเครื่องหมักคงที่คือ $0.0216 \text{ (ชั่วโมง)}^{-1}$ และ 1:0.2 ซึ่ง
จากผลการทดลองทำให้กระบวนการหมักแบบต่อเนื่องสามารถเดินเครื่องได้อย่างสม่ำเสมอ

จากการเปรียบเทียบกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง กึ่งต่อเนื่อง และต่อเนื่อง
พบว่าสามารถผลิตได้ 5.4, 6.0 และ 7.8 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
Dr. Ouyesen



PRAPON PRASOPWATANA : MULTICOLUMN FERMENTER IN CONTINUOUS VINEGAR PRODUCTION FROM PINEAPPLE WINE. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VICHA VANADURONGWAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF. SUTTISAK SUKNAILILP, 152 PP.

The multicolumn fermenter consists of four column fermenters connected in series. Each of them made from transparent plastic with 7.2 cm. in diameter and 50 cm. in height. The column was packed with 180 wooden spheres (*Xylocarpa craib*) of 1.5 cm. in diameter. Pure culture of *A. aceti* were immobilized on the surface of the packing material. The feed rate of broth at 3.2, 2.8, 2.4 l/min and aeration rate at 0.04, 0.06, 0.08 vvm were studied in each column fermenter for the maximum acetic acid production rate. It was found that each column fermenter had the same optimum feed rate at 2.8 l/min and the optimum aeration rate of the 1st, 2nd, 3rd and the 4th fermenter were 0.04, 0.04, 0.06 and 0.06 vvm respectively. From these results, the continuous process was carried on using pineapple wine which had the ratio of ethanol to acetic acid at 7:1 as substrate. To find the optimum dilution rate and recycle ratio (dilution rate : recycle rate), it was found that the dilution rate of 0.0216 (hour)⁻¹ and recycle ratio of 1:0.2 made to stabilize not only the quantity of acetic acid and bacteria in the column fermenter but also the fermentation process as well.

In comparing the rate of vinegar production between batch process, semicontinuous process and continuous process it was found to be 5.4, 6.0 and 7.8 litre/day respectively.

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2530

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
Dr. Prapong Prasopwatana



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชา วนดรงค์วรรณ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือ ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เนียรพรรค ทศกร ที่กรุณาให้ใช้ peristaltic pump พร้อมทั้งขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุวิมล กิริติพิบูลย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเลี้ยงเชื้อ เพื่อทำให้บรรลุลดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณอวยพร สิมลากร คุณสังข์ ชมชื่น คุณสนิท ปรีนคร คุณแก้ว ดีประเสริฐ คุณเจริญ ดีประเสริฐ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ โรงงานเกียรติผ้า และโรงงานมาลีสามพราน ที่กรุณาเอื้อเฟื้อน้ำสับปะรด ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในงานวิจัย ทำให้บรรลุลดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และ ผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่สนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาตลอดจนจบการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ณ
สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ	ท
บทที่	
1 บทนำ	1
2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 ประเภทของน้ำส้มสายชู	3
2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวกับการผลิตน้ำส้มสายชู	6
2.1.1 ยีสต์	6
2.1.2 แบคทีเรีย	6
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของแบคทีเรีย Acetobacter	
2.1.3.1 อุณหภูมิ	7
2.1.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง	7
2.1.3.3 ออกซิเจน	7
2.3 กลไกการเปลี่ยนแปลงของเอทานอลไปเป็นกรดอะซิติก	7
2.4 วิศวนาการของการผลิตน้ำส้มสายชู	10
2.5 การพัฒนากระบวนการผลิตในรูปแบบต่าง ๆ	15
2.6 ประสิทธิภาพของเครื่องหมักที่มีผลต่อการหมัก	15
2.6.1 แพลนต์	16
2.6.2 ระบบการให้อากาศและระบบการไหลเข้าของน้ำหมัก	17
2.6.3 ระบบการไหลเวียนของน้ำหมัก	20
2.7 คุณลักษณะของระบบการไหลทางเดียวในเครื่องหมักหลายเครื่อง	
2.7.1 สมดุลของปริมาณเชื้อ	23
2.7.2 การเกิดผลผลิต	29

สารบัญ (ต่อ)

	2.7.3	ระบบเครื่องหมักหลายชั้นแบบต่อเนื่อง ในกรณีที่มีการนำเชื้อ แบคทีเรียกลับมาใช้ใหม่	34
3	อุปกรณ์ วัสดุและการทดลอง		
	3.1	อุปกรณ์และวัสดุ	37
	3.1.1	เครื่องหมักไวน์	
		ก. เครื่องพาสเจอร์ไรซ์	37
		ข. เครื่องหมักไวน์	37
	3.1.2	เครื่องหมักน้ำส้มสายชู	
		3.1.2.1 เครื่องหมักน้ำส้มสายชูแพคเบดคอลัมน์เดี่ยว	40
		3.1.2.2 เครื่องหมักน้ำส้มสายชูแพคเบดแบบต่อเนื่อง	40
	3.2	การทดลอง	
	3.2.1	การเตรียมวัสดุตัวกลางที่ยึดเกาะของเชื้อ	43
	3.2.2	การเตรียมไวน์	43
	3.2.3	การเตรียมน้ำส้มสายชู	43
	3.2.4	การเตรียมเครื่องหมักเพื่อการหมักแบบต่อเนื่อง	43
	3.2.5	ขั้นตอนการทดลอง	
		3.2.5.1 ศึกษาความสูงของแพคเบดที่เหมาะสม	44
		3.2.5.2 ศึกษากระบวนการไหลเวียนของน้ำหมัก ที่เหมาะสม	44
		3.2.5.3 ศึกษาสภาวะที่สามารถผลิตกรดอะซิติกที่เร็วที่สุด ของแต่ละเครื่องหมักในแต่ละช่วงกรด	44
		3.2.5.4 ศึกษาอัตราการเจริญงอกงามที่ดีที่สุดในการเดินทางเครื่อง แบบต่อเนื่อง	44
		3.2.5.5 ศึกษาอัตราการเจริญงอกงามที่ดีที่สุดในการเดินทางเครื่อง แบบต่อเนื่อง เมื่อมีการบ้อนกลับ	44
		3.2.5.6 เปรียบเทียบกำลังการผลิตของกระบวนการหมัก การแบบไม่ต่อเนื่อง กึ่งต่อเนื่องและต่อเนื่อง	46

สารบัญ (ต่อ)

	3.2.6	วิธีวิเคราะห์	47
4		ผลการทดลอง	
	4.1	ผลการศึกษาอัตราส่วนความสูงของแพคเบด	48
	4.2	ผลการศึกษาระบบการไหลเวียนของน้ำหมัก	50
	4.3	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องหมักที่ 1 เมื่อแปรค่าอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2, 2.8 และ 2.4 ลิตรต่อนาที และแปรค่าอัตราการให้อากาศ 0.08, 0.06 และ 0.04 ปปน.	52
	4.4	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องหมักที่ 2 เมื่อแปรค่าอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2, 2.8 และ 2.4 ลิตรต่อนาที และแปรค่าอัตราการให้อากาศ 0.08, 0.06 และ 0.04 ปปน.	52
	4.5	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องหมักที่ 3 เมื่อแปรค่าอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2, 2.8 และ 2.4 ลิตรต่อนาที และแปรค่าอัตราการให้อากาศ 0.08, 0.06 และ 0.04 ปปน.	52
	4.6	ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องหมักที่ 4 เมื่อแปรค่าอัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2, 2.8 และ 2.4 ลิตรต่อนาที และแปรค่าอัตราการให้อากาศ 0.08, 0.06 และ 0.04 ปปน.	52
	4.6	ผลการศึกษาอัตราการเจือจางที่เหมาะสมในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง โดยใช้อัตราส่วนเริ่มต้นของ เอทานอล: กรดอะซิติก = 7:1	71
	4.7	ผลการศึกษาอัตราการเจือจางที่เหมาะสมในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง เมื่อมีการป้อนกลับ โดยใช้อัตราส่วนเริ่มต้นของ เอทานอล: กรดอะซิติก = 7:1	76
	4.8	ผลการเปรียบเทียบกำลังการผลิตน้ำส้มสายชูในการเดินเครื่องแบบไม่ต่อเนื่อง แบบกึ่งต่อเนื่องและต่อเนื่อง	80
5		วิจารณ์ผลการทดลอง	83
6		สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	96
		เอกสารอ้างอิง	98
		ภาคผนวก	102
		ประวัติ	152

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงอัตราการเกิดกรดอะซิติคของเครื่องหมักที่ 1,2,3 และ4 ที่อัตราการไหล เข้าของน้ำหมักและอากาศต่าง ๆ กัน	66
ค 1 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด อัตราส่วนความสูงของช่องว่างเหนือแพคเบตต่อความสูงของแพคเบต 1:0.95	111
ค 2 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลา อัตราส่วนความสูงของช่องว่างเหนือแพคเบตต่อ ความสูงของแพคเบต 1:1.22	111
ค 3 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของระบบการไหลเวียนของน้ำหมักแบบกาลักน้ำ	112
ค 4 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของระบบการไหลเวียนของน้ำหมักแบบธรรมดา	112
ค 5 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.08 ปปน.	113
ค 6 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.06 ปปน.	113
ค 7 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.04 ปปน.	114
ค 8 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.08 ปปน.	114
ค 9 แสดงปริมาณกรดอะซิติค เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ 0.06 ปปน.	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค 37	แสดงปริมาณกรดอะซิติก เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 4 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ ๑.๐4 ปปน. 129
ค 38	แสดงปริมาณกรดอะซิติก เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 4 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.4 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ ๑.๐8 ปปน. 129
ค 39	แสดงปริมาณกรดอะซิติก เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 4 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.4 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ ๑.๑6 ปปน. 130
ค 40	แสดงปริมาณกรดอะซิติก เอทานอล เชื้อ ความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด และอุณหภูมิต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 4 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.4 ลิตรต่อนาที อัตราการให้อากาศ ๑.๑4 ปปน. 130
ค 41	แสดงปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลา ในการหมักแบบต่อเนื่อง อัตรา การเจือจาง ๑.๑192 (ชั่วโมง) ⁻¹ 131
ค 42	แสดงปริมาณเชื้อและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในการหมักแบบต่อเนื่องอัตรา การเจือจาง ๑.๑192 (ชั่วโมง) ⁻¹ 131
ค 43	แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิต่อเวลา ในการหมักแบบต่อเนื่อง อัตรา การเจือจาง ๑.๑192 (ชั่วโมง) ⁻¹ 132
ค 44	แสดงปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลา ในการหมักแบบต่อเนื่อง อัตรา การเจือจาง ๑.๑216 (ชั่วโมง) ⁻¹ อัตราส่วนการบ้อนกลับ 1:๑.2 132
ค 45	แสดงปริมาณเชื้อและของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่อเวลา ในการหมักแบบต่อเนื่อง อัตราการเจือจาง ๑.๑216 (ชั่วโมง) ⁻¹ อัตราส่วนการบ้อนกลับ 1:๑.2 ... 133
ค 46	แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิต่อเวลา ในการหมักแบบต่อเนื่อง อัตรา การเจือจาง ๑.๑216 (ชั่วโมง) ⁻¹ อัตราส่วนการบ้อนกลับ 1:๑.2 133
ค 47	แสดงปริมาณกรดอะซิติก เอทานอล เชื้อ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็น กรด-ด่าง และอุณหภูมิต่อเวลา ในการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องของเครื่องหมักหลาย คอลัมน์ 134

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

ค 48 แสดงปริมาณกรดอะซิติก เอทานอล เซ็ล ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิต่อเวลา ในการหมักแบบไม่ต่อเนื่อง ของเครื่องหมักหลายคอลัมน์ 134



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เครื่องหมักของ Frings แบบหมุนเวียน	11
2.2	เครื่องหมักแบบ Submerge	12
2.3	เครื่องหมักแบบคอลัมน์ชนิดแพคเบด	14
2.4	เครื่องหมักแบบคอลัมน์หลายชั้นชนิดแพคเบด	14
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศต่อความเร็วของ ฟองอากาศ	18
2.6	ปรากฏการณ์การถ่ายเทมวลสารจากฟองอากาศสู่เซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์	19
2.7	ลักษณะการไหลของน้ำหมัก	20
2.8	ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อที่เปลี่ยนไปต่อเวลากับปริมาณเชื้อ และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับปริมาณเชื้อ	24
2.9	ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับปริมาณเชื้อ	28
2.10	ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับปริมาณเชื้อ, มวลเซลล์ ของเชื้อกับเวลา ผลผลิต สารผสมอื่น ๆ และอัตราการผลิตจำเพาะกับผลผลิต เมื่อการเกิดผลผลิตพร้อมกับการเจริญเติบโตของเชื้อ	31
2.11	ความสัมพันธ์ของอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับปริมาณเชื้อ, มวลเซลล์ ของเชื้อกับเวลา ผลผลิต สารผสมอื่น ๆ และอัตราการผลิตจำเพาะกับผลผลิต เมื่อการเกิดผลผลิตหลังจากที่เชื้อเจริญเติบโตสูงสุดแล้ว	32
2.12	ความสัมพันธ์เป็นแผนภูมิของปริมาณเชื้อ ผลผลิต สารผสมอื่น ๆ และอาหาร เลี้ยงเชื้อ	33
2.13	ความสัมพันธ์ของปริมาณเชื้อและอาหารเลี้ยงเชื้อ กับ อัตราการเจริญ เมื่อไม่มีการบ้อนกลับและมีการบ้อนกลับ	36
3.1	เครื่องพาสเจอร์ไรซ์	38
3.2	เครื่องหมักไวน์แบบต่อเนื่อง	39
3.3	ลักษณะและขนาดของลูกไม้มะค่าที่ใช้เป็นแพคเบด	40
3.4	ลักษณะของระบบการไหลเวียนของน้ำหมักแบบกาลักน้ำ	41
3.5	เครื่องหมักหลายคอลัมน์แบบต่อเนื่อง	42
3.6	หน่วยบ้อนวัตถุดิบ	45
3.7	การทำมัลลันจากถังหมักต้นสู่ถังหมักลำดับต่อไป	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8	แผนภูมิการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง..... 46
3.9	แผนภูมิการเดินเครื่องแบบต่อเนื่องเมื่อมีการป้อนกลับ..... 46
3.10	แผนภูมิการเดินเครื่องแบบไม่ต่อเนื่องและกึ่งต่อเนื่อง..... 47
4.1	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกต่อเวลา เมื่อใช้อัตราส่วนความสูงของช่องว่างเหนือแพคเบตต่อความสูงของแพคเบตเท่ากับ 1:0.95 และ 1:1.22 49
4.2	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกต่อเวลา เมื่อใช้ระบบการไหลเวียนของน้ำหมักแบบกัลน้ำและการไหลผ่านธรรมชาติ 51
4.3	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ 0.04, 0.06 และ 0.08 ปปน. 54
4.4	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ 0.04, 0.06 และ 0.08 ปปน. 55
4.5	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.4 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ 0.04, 0.06 และ 0.08 ปปน. 56
4.6	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 2 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ 0.04, 0.06 และ 0.08 ปปน. 57
4.7	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 2 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ 0.04, 0.06 และ 0.08 ปปน. 58
4.8	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 2 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.4 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ 0.04, 0.06 และ 0.08 ปปน. 59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 3 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ ๐.๐4, ๐.๐6 และ ๐.๐8 ปปน.	60
4.10	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 3 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ ๐.๐4, ๐.๐6 และ ๐.๐8 ปปน.	61
4.11	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 3 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.4 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ ๐.๐4, ๐.๐6 และ ๐.๐8 ปปน.	62
4.12	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 4 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 3.2 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ ๐.๐4, ๐.๐6 และ ๐.๐8 ปปน.	63
4.13	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 4 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.8 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ ๐.๐4, ๐.๐6 และ ๐.๐8 ปปน.	64
4.14	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกและเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 4 อัตราการไหลเข้าของน้ำหมัก 2.4 ลิตรต่อนาทีและอัตราการให้อากาศ ๐.๐4, ๐.๐6 และ ๐.๐8 ปปน.	65
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดกรดอะซิติกต่ออัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศของเครื่องหมักที่ 1	67
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดกรดอะซิติกต่ออัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศของเครื่องหมักที่ 2	68
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดกรดอะซิติกต่ออัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศของเครื่องหมักที่ 3	69
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดกรดอะซิติกต่ออัตราการไหลเข้าของน้ำหมักและอัตราการให้อากาศของเครื่องหมักที่ 4	70
4.19	ปริมาณกรดอะซิติกต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1, 2, 3 และ 4 ในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจาง ๐.๐192 (ชั่วโมง) ⁻¹	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.20	ปริมาณเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง โดยใช้อัตราการเจือจาง ๐.๐192 (ชั่วโมง) ⁻¹	73
4.21	ปริมาณเชื้อต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง อัตราการเจือจาง ๐.๐192 (ชั่วโมง) ⁻¹	74
4.22	ปริมาณเชื้อต่อเวลาของเครื่องหมักหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง อัตราการเจือจาง ๐.๐2๐4 (ชั่วโมง) ⁻¹	75
4.23	ปริมาณกรดอะซิติกต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง อัตราการเจือจาง ๐.๐216 (ชั่วโมง) ⁻¹ อัตราส่วนการบ้อนกลับ 1:๐.2	77
4.24	ปริมาณเชื้อต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง อัตราการเจือจาง ๐.๐216 (ชั่วโมง) ⁻¹ อัตราส่วนการบ้อนกลับ 1:๐.2	78
4.25	ปริมาณเอทานอลต่อเวลาของเครื่องหมักที่ 1,2,3 และ 4 ในการเดินเครื่องแบบต่อเนื่อง อัตราการเจือจาง ๐.๐216 (ชั่วโมง) ⁻¹ อัตราส่วนการบ้อนกลับ 1:๐.2	79
4.26	ปริมาณกรดอะซิติกต่อเวลาในการเดินเครื่องแบบกึ่งต่อเนื่องของเครื่องหมักหลายคอลัมน์	81
4.27	ปริมาณกรดอะซิติกต่อเวลาในการเดินเครื่องแบบไม่ต่อเนื่องของเครื่องหมักหลายคอลัมน์	82
5.1	ปริมาณกรดอะซิติกต่อเวลาในการเดินเครื่องแบบไม่ต่อเนื่อง	83
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อต่อเวลาในการเดินเครื่องแบบไม่ต่อเนื่อง ...	90
5.3	การเปรียบเทียบปริมาณกรดอะซิติกที่ได้รับต่อเวลา ในการเดินเครื่องแบบไม่ต่อเนื่อง กึ่งต่อเนื่อง และต่อเนื่อง ของเครื่องหมักหลายคอลัมน์	91
ก.1	ลักษณะของ Hemacytometer ด้านหน้าและภาคตัด.....	104
ก.2	รูปขยายจากตาราง Hemacytometer.....	105
ง.2	กระบวนการผลิตน้ำส้มสายชูอย่างต่อเนื่อง.....	136

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนข้อความ

a	=	พื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ($\text{ซม.}^2/\text{ซม.}^3$)
ΔC	=	ความแตกต่างของความเข้มข้นของสาร (กรัม-โมล/ลบ.ซม.)
d_B	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศ (มิลลิเมตร)
F	=	อัตราการให้อากาศ (ลิตร/นาที)
H_L	=	ความลึกของของเหลว (เซนติเมตร)
k	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร
k_L	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของออกซิเจน
P	=	อัตราการเกิดผลผลิต
p	=	อัตราการเกิดผลผลิตจำเพาะ (ซม.^{-1})
S	=	ความเข้มข้นของอาหารเลี้ยงเชื้อ
t	=	เวลา (นาที)
v	=	ความเร็วของฟองอากาศ (เซนติเมตร/วินาที)
X	=	ความเข้มข้นของมวลเซลล์ (มิลลิกรัม/ลบ.ซม.)
VVM, ปปน.	=	ปริมาตรของอากาศต่อปริมาตรของน้ำหมักต่อนาที

ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย